



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO ADOQUIN DE 1365 METROS
LINEALES DEL TRAMO DE CALLE QUE UNE A LOS BARRIOS LUCIDIA
MANTILLA Y SOR MARIA ROMERO.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Hamilton Javier Espino González.
Br. Franklin Bresnier Benavides Gonzales.

Tutor

Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

Managua, Marzo 2017

DEDICATORIA.

El presente documento está dedicado a:

Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría para poder culminar mis estudios y quien siempre supo guiarme por el buen camino.

Mi abuela, Brunilda García, quien ha estado siempre a mi lado cuidándome, velando por mi salud y bienestar.

Mis padres, María Concepción González García y Erasmo Jarquín Arauz, por su apoyo incondicional alentándome en todo momento, por sus esfuerzos, consejos y por creer en mí.

Mis hermanos, Diana Carolina Artola González y Ángel Erasmo Jarquín González, quienes han sido mi motivación en todo momento.

**Hamilton Javier
Espino González.**

DEDICATORIA.

Efesios 1: “En él asimismo tuvimos herencia, habiendo sido predestinados conforme al propósito del que hace todas las cosas según el designio de su voluntad”

Este documento es dedicado en primer lugar a Dios, a mi Dios (Dios de Abraham, de Isaac y de Jacob), el Dios de mis padres, porque él da sabiduría y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia, quien me dio la esperanza y fuerza para culminar este documento en su tiempo, la piedra angular de mi vida.

A mis padres: Felicita del Socorro González Urbina y Franklin José Benavidez Hernández, mis guías, mi fuerza, mi ilusión, mi razón de existir, el mayor tesoro, el favor de la gracia de Dios. (Ámbito Terrenal)

A esas personas que Dios envió como ángeles en mi vida, en el momento adecuado, en su momento, en su gracia y misericordia: Prof. Luis Alexander Cabistan, Lic. María Auxiliadora Lobo y Sr. Julio Guardado.

**Franklin Bresnier
Benavidez González.**

AGRADECIMIENTO.

Damos gracias en primer lugar a Dios, (Dios de Abraham, de Isaac y de Jacob), porque el da sabiduría y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia, porque en el encontramos el favor de su gracia y refugio en todo momento, quien nos dio la esperanza y fuerza para culminar este documento en su tiempo, la piedra angular de nuestras vidas.

A nuestros padres: nuestras guías, fuerzas, ilusión, razón de existir, el mayor tesoro el favor de la gracia de Dios aquí en la tierra.

A nuestro tutor Ing. José Fernando Bustamante Arteaga quien nos brindó su apoyo incondicional en todo momento y nos proporcionó información valiosa para la culminación de este documento.

Agradecemos a la Alcaldía Municipal de Matagalpa, al departamento de obras públicas, quienes estuvieron a la orden en todo momento.

Finalmente a todas las personas que de una u otra forma nos brindaron su apoyo y confianza durante el desarrollo de nuestros estudios.

RESUMEN DEL TEMA

El presente trabajo monográfico tiene como fin determinar los espesores de pavimentos del tramo en estudio, y para ello se realizaron varios estudios estructurados y ordenados en capítulos y que se describen a continuación:

El capítulo I contiene el estudio de suelo realizado a los tipos de suelo encontrados en los diferentes sondeos hechos en el sitio y en el banco de préstamo, las pruebas de laboratorio realizadas a los diferentes tipos de suelo (Análisis granulométrico, límite de consistencia de Atterberg, proctor modificado, valor relativo soporte California (CBR)), así como los resultados de estas pruebas; todo esto se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo para realizar el diseño de estructuras de pavimento requerido.

El capítulo II contiene el estudio de tránsito que se realizó con el fin de determinar la clasificación vehicular y la cantidad de vehículos que circulan en el tramo, el cual servirá para encontrar el tránsito promedio diario anual (TPDA), tomando como referencia los factores día, semana, fin de semana, y factor expansión que aparecen en el anuario de tráfico 2014 proporcionado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), los cuales servirán para ajustar los resultados obtenidos.

EL capítulo III contiene los espesores de pavimento, se determinaron varios factores tales como: el número de cargas de eje simple de 18 kips (80KN) calculado conforme al tránsito vehicular, el módulo resiliente de la sub-rasante, la confiabilidad, la desviación estándar, la pérdida de serviciabilidad .

EL capítulo IV contiene las conclusiones y recomendaciones.

INDICE

INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES	2
OBJETIVOS.....	4
JUSTIFICACION	5
LOCALIZACION	6
CAPÍTULO I.....	8
ESTUDIO DE LOS SUELOS	
1.1 Introducción.....	8
1.2. Generalidades.....	8
1.2.1 Definición	8
1.2.2 Origenes de los suelos	9
1.2.3. Tipos de suelos mas comunes.....	9
1.2.3.1 Gravas	9
1.2.3.2 Arenas	9
1.2.3.3 Limos.....	9
1.2.3.4 Arcillas	10
1.2.4. Clasificación de los suelos.....	10
1.2.4.1 Sistema AASHTO	10
1.2.4.1.1 Suelos Granulares.....	10
1.2.4.1.2 Suelos Finos limo arcillosos	12
1.2.4.1.3 Indice de grupo	13
1.2.4.2 Sistema SUCS.....	14
1.2.5. Aspectos a considerar en un estudio de suelo	14
1.2.5.1 Exploración.....	14
1.2.5.2 Caracterización de los suelos	14
1.2.5.3 Propiedades físico-mecánicas	15
1.3. Metodología	16
1.3.1.Trabajo de campo.....	16

1.3.2. Ensayes de laboratorio	17
1.3.3. Resultados obtenidos	18
1.3.3.1 Sondeos de linea	18
1.3.3.2 Estratigrafía del suelo	21
1.3.4 Determinacion del CBR de diseño	21
1.3.5. Banco de materiales.....	24
 CAPÍTULO II.....	 27
ESTUDIO DE TRANSITO	
2.1. Introduccion.....	27
2.2. Generalidades.....	27
2.2.1 Definición	27
2.2.2 Uso de datos de volúmenes de transito.....	28
2.2.3 Métodos de muestreo	29
2.2.3.1 Aforos Manuales	29
2.2.3.2 Contadores Mecánicos	29
2.2.4 Estaciones de Aforo.....	29
2.2.5 Tipos de tráfico.....	30
2.2.6 Clasificación vehicular.....	31
2.2.6.1 Vehículos de pasajeros.....	31
2.2.6.2 Vehículos de carga.....	32
2.2.6.3 Equipo pesado.....	32
2.3. Metodología	33
2.3.1 Periodos de aforo de tránsito.....	33
2.3.2 Resultados de los aforos de tránsito.....	33
2.3.3 Expansión tránsito diario y semanal	34
2.3.4 Cálculo del tránsito promedio diario anual	37
2.3.5 Proyección del tráfico	38
2.3.6 Periodo de diseño	40
2.3.7 Cálculo de la proyeccion del tránsito	40
2.3.8 Tránsito de diseño.....	41

2.3.9 Factor de crecimiento (Fcr)	41
2.3.10 Factor de distribución por dirección (Fd).....	42
2.3.11 Factor de distribución por carril	42
2.3.12 Cálculo de tránsito de diseño.....	43
2.3.13 Determinación y cálculo de ejes equivalentes de diseño	44
 CAPÍTULO III.....	 46
DISEÑO DE PAVIMENTO	
5.1. Introducción.....	46
5.2. Generalidades.....	46
5.2.1 Definición	46
5.2.2 Clasificación de pavimento	47
5.2.2.1 Pavimentos Flexibles	47
5.2.2.2 Pavimentos Semirrígidos	47
5.2.2.3 Pavimentos Rígidos	48
5.2.2.3 Pavimento articulado o de adoquines	48
5.2.3 Estructura de un pavimento articulado	49
5.2.4 Ventajas del pavimento de adoquín.....	50
5.2.5 Factores para el diseño	51
5.3. Metodología	52
5.3.1 Variables de diseño.....	53
5.3.1.1 Confiabilidad.....	53
5.3.1.2 Desviación estándar.....	54
5.3.1.3 Serviciabilidad	54
5.3.1.4 Módulo Resiliente.....	55
5.3.1.5 Subrasante.....	55
5.3.1.6 Capa de Base	55
5.3.2 Número estructural (SN)	56
5.3.2.1 Coeficientes Estructurales	56
5.3.2.2 Drenaje	57

5.3.3 Cálculo de Espesores	58
5.3.3.1 Cálculo del Número Estructural (SN) y Espesores de Capa (D).	58

CAPÍTULO IV	61
-------------------	----

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	61
Recomendaciones	62

Bibliografía	63
--------------------	----

INTRODUCCION

El transporte es un elemento de gran influencia en la economía de las zonas urbanas y rurales, y la serviciabilidad de las carreteras o caminos contribuye al desarrollo socioeconómico de los sectores de la población. Dicha serviciabilidad está en función del estado superficial y estructura del pavimento. Por ello es de gran importancia que se cuente con una red vial eficiente, que permita la comunicación entre zonas rurales y urbanas.

Las características y condiciones de los caminos en las zonas rurales y algunas zonas urbanas de Matagalpa con frecuencia presentan un mal estado, además son vías con muy poco o ningún tratamiento; esto se debe a la poca circulación o bajo volumen de tráfico. La principal función de estos caminos es proporcionar accesibilidad a pueblos, poblados, centros de servicios y variados tipos de zonas rurales que regularmente se inundan en períodos de invierno impidiendo de esta manera el acceso a ellos. Por tal razón con el diseño de pavimentos se pretende dar solución a estos problemas y poder proporcionar así una vía de acceso que cumpla con todas las normas requeridas, para que ésta sea segura y confortable en todo tiempo permitiendo así un desarrollo socioeconómico a la zona en estudio.

El proyecto se llevará a cabo con la utilización de estudios técnicos previamente realizados en el sitio, para un mejor desarrollo del mismo. Se hará uso del laboratorio de suelos que dispone la Facultad de Tecnología de la Construcción del recinto universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP).

El método de diseño que se ha elegido es el método AASHTO 93 porque a diferencia de otros métodos, este método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y segura al usuario.

ANTECEDENTES

Matagalpa fue un pueblo indio de descendencia Chibcha, procedentes del norte de Suramérica, encontrado por los españoles durante la colonización. Los historiadores afirman que ese nombre, Matagalpa, deriva de la lengua náhuatl y significa “pueblo enredado”. En 1538 la Corona Española creó el Corregimiento de Matagalpa constituida por tres pueblos indígenas llamados Solingalpa, Molagüina y Pueblo Grande o Matagalpa.

Elevada a Villa el 5 de abril de 1851 y a ciudad el 14 de febrero de 1862, Matagalpa fue capital provisional de Nicaragua entre 1855 y 1856, cuando los filibusteros de William Walker fueron derrotados en la Hacienda San Jacinto y se constituyó el gobierno legitimista a cargo del presidente provisional, Nicasio del Castillo.

La ciudad de Matagalpa actualmente cuenta con 88 barrios; la mayoría de los barrios cuentan con calles pavimentadas, embaldosadas y de macadán, principalmente algunos barrios periféricos recién formados. Tiene una extensión territorial de 640.05 km² y una altitud de 681 m.s.n.m.

El Barrio Lucidia Mantilla Surge en la década de los años 90 es un barrio nuevo que se subdivide en dos sectores que son: Lucidia Mantilla de abajo y Lucidia Mantilla de arriba. En 1998 el huracán Mitch inundó por completo el barrio pero una vez que bajaron las aguas del río un grupo de pobladores empezaron la construcción de viviendas en condiciones muy precarias, casas de cartón, zinc, plástico y ripio. El 24 de febrero del 2004 en resolución del concejo municipal se resuelve que sea un solo barrio, con el nombre Lucidia Mantilla. Según registros del 2011 tiene una población de 4280 habitantes, una extensión de 28.52 hectáreas y una densidad poblacional de 151 hab/Ha.

El barrio Lucidia Mantilla limita: Norte: Rio Grande y Barrio Sandino sur, Sur: Barrio Sor María Romero, Este: Barrio Sandino Sur, Oeste: Rio Grande de Matagalpa

El Barrió Sor María Romero Surge en el año 2002, el lugar se llama finca la Esperanza comarca de san Pedro. En la actualidad lleva el nombre de: Sor María Romero en homenaje a esta religiosa canonizada el 17 de abril del 2002 (en esa fecha se tomaron las tierras para construir sus viviendas). En un inicio eran 17 viviendas, todas de plástico negro y ripios. En la actualidad hay aproximadamente 4760 habitantes, una extensión de 43.05 hectáreas y una densidad poblacional de 110.58 hab/Ha.

El barrio Sor María Romero limita: Norte: Barrio Lucidia Mantilla, Sur: Comarca Susuma, Este: Finca de Aníbal Baldizon, Oeste: Rio Grande

Vialidad y transporte

En estos aspectos la municipalidad ha jugado un papel preponderante ya que desde el mes de septiembre de 1998 asumió la responsabilidad del transporte intramunicipal rural y urbano con las consecuentes tareas y medidas organizativas que se tuvieron que hacer para normar y controlar la nueva responsabilidad.

En los trabajos de señalización vial la municipalidad ha invertido bastantes recursos, pero se mantiene latente el problema de que los antisociales destruyen las señales dejando siempre el problema de señalización desprotegido principalmente las esquinas donde éstas son sumamente necesarias para evitar accidentes de tránsito.

OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño de la estructura de pavimento articulado (adoquín), en los barrios Lucidia Mantilla y Sor María Romero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar los estudios de suelo del eje del camino y de los bancos de materiales; y determinar sus características mecánicas para su adecuada utilización en el diseño.

- ✓ Analizar el tránsito vehicular suministrado por la alcaldía municipal y determinar la carga de diseño.

- ✓ Diseñar la estructura de pavimento articulado (adoquin) mediante el método AASHTO-93.

JUSTIFICACIÓN

Las vías de comunicación ayudan a que dos lugares separados por una distancia, puedan mantener una buena relación comercial, esto es a nivel macro. A nivel micro una comunidad que posee calles en buen estado, no sólo tiene un mejor aspecto sino que fomenta toda clase de comercio. Sin embargo, durante los últimos años, con el aumento vehicular y de la economía, la población de la zona ha visto un incremento en los problemas que surgen por no contar con calles en buen estado, por lo que demandan calles en buenas condiciones, para una buena circulación y un mejor desarrollo.

Debido a los diferentes problemas que se presentan en dichos barrios y que perjudican a la población tales como: inundaciones, enfermedades respiratorias y gastrointestinales, deterioro de los vehículos (colectivos y privados), pretendemos mejorar sus condiciones de vida a través de una vía que cumpla con las normativas de diseño del país, la cual incentivará un crecimiento socio-económico.

Este proyecto beneficiará de manera directa a los pobladores del lugar ofreciéndoles una vía de acceso que les permita transportarse de una manera más rápida y eficiente, menor costo de mantenimiento a los dueños de vehículos, mayor eficiencia de la vía para el flujo vehicular, crecimiento económico, plusvalía de los terrenos, menor asistencia a los puestos de salud debido a las enfermedades antes mencionadas.

Al ejecutarse este proyecto se estará contribuyendo a crear las condiciones necesarias para garantizar la evacuación de las aguas, facilitar la circulación vehicular y peatonal, reducción de tiempo de viaje, de igual forma embellecer la comunidad.

LOCALIZACIÓN

Macro – Localización.

El proyecto se localiza en la Republica de Nicaragua. Transcurre en la Región VI en el Departamento de Matagalpa, ocupando el sector central del país y a su vez limita con los siguientes Departamentos:

- Norte: Departamento de Jinotega y Estelí
- Sur: Departamento de Boaco
- Este: RAAN Y RAAS
- Oeste: Departamento de León y Managua



Fuente: <http://www.mapanicaragua.com/>

Micro – Localización.

El tramo en estudio se localiza en el Municipio de Matagalpa, perteneciente al Departamento de Matagalpa; iniciando en el Barrio Lucidia Mantilla con una longitud de 1,365 metros lineales y finalizando en el Barrio Sor María Romero.



Fuente: http://www.vmapas.com/America/Nicaragua/Matagalpa/Mapa_Politico_Matagalpa.jpg/maps-es.html?map_viewMap=1



Fuente: Google earth

CAPITULO I

ESTUDIO DE LOS SUELOS

1.1. INTRODUCCION

Los estudios de suelos para carreteras deben suministrar datos suficientes del subsuelo que permitan definir las propiedades geotécnicas más importantes de los suelos y materiales por los que atraviesa el proyecto y señalar las unidades geomorfológicas a las que pertenecen.

Para ello se tiene que llevar a cabo la investigación sistemática de los terrenos del trazado de la vía; junto con un estudio, más detallado, de los puntos en los que sea previsible la aparición de algún problema particular. Debe, además, suministrar información para la selección de Bancos de préstamos de materiales para terracerías, sub-base y base.

1.2. GENERALIDADES

1.2.1 Definición.

El término “suelo” se define desde el punto de vista del ingeniero civil como el conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de las rocas preexistentes o como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de las rocas.

El estudio de suelo permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, humedad, peso volumétrico, plasticidad, resistencia, el tipo de cimentación más adecuado para la obra a construir y las dimensiones de la estructura en relación al peso que va a soportar.

1.2.2 Orígenes de los suelos.

Los suelos provienen de las alteraciones que sufren las rocas debido a los fenómenos durante los tiempos, este proceso de alteración también es llamado meteorización, que se realiza por la desintegración o descomposición de las rocas.

La desintegración es un proceso mecánico que divide la roca en partículas pequeñas que conservan las propiedades físicas y químicas de la roca madre.

La descomposición es aquel proceso en el cual la roca se transforma en un producto de diferentes propiedades físicas y químicas, en comparación a su estructura original.

1.2.3 Tipos de Suelos más comunes.

A continuación se describen algunos de los suelos más comunes con los nombres generalmente utilizados por el profesional, para su identificación.

1.2.3.1 Gravas.

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3") hasta 2.0 mm.

1.2.3.2 Arenas.

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

1.2.3.3 Limos.

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características

plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm.

1.2.3.4 Arcillas.

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Algunas entidades consideran como arcillas a las partículas menores a 0.002 mm.

1.2.4 Clasificación de los suelos.

Dada la gran variedad de los suelos que se presenta en la naturaleza, la mecánica de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de estos métodos tiene, prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentados y así se tiene la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas, la clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO), el sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.), etc.

1.2.4.1 Sistema AASHTO.

En EEUU nace en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación, el cual fue creado para evaluar los suelos sobre los cuales se contraían las carreteras, es así como nace en 1945 el sistema AASHO, el cual ha derivado en la actualidad como AASHTO.

Este sistema describe un procedimiento para clasificar a los suelos en un total de 7 grupos designados por los símbolos desde el A-1 hasta el A-7. Descripción de los grupos de clasificación:

1.2.4.1.1 Suelos granulares

Son aquellos que tienen 35% o menos del material fino que pasa el tamiz número 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2, A-3.

Grupo A-1.

Está compuesto a su vez de dos sub-grupos A-1a y A-1b, el material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de rocas, grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también a este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.

Subgrupo A-1a: Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado.

Subgrupo A-1b: Comprende a aquellos materiales formados predominantemente por arenas gruesas bien graduadas, con o sin material ligantes.

Grupo A-2.

Comprende una gran cantidad de material granular que contiene menos del 35% de material fino.

Subgrupos A-2-4, A-2-5: Pertenecen a estos subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35 % y cuya fracción que pase el tamiz No.4 tiene las mismas características de los suelos A-4, A-5, respectivamente.

Estos grupos incluyen aquellos suelos gravosos y arenosos (arenas gruesas), que tengan un contenido de limo o de índice de grupo en exceso a lo indicado por el grupo A-1. Así mismo incluye a aquellas arenas finas con un contenido de limo no plástico en exceso al indicado para el grupo A-3.

Subgrupo A-2-6, A-2-7: Los materiales de este subgrupo son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa por el tamiz No.4 tiene las mismas características de los suelos A-6, A-7, respectivamente.

Grupo A-3.

En este grupo se encuentran incluidas las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye, además las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

1.2.4.1.2 Suelos finos limo arcillosos

Son aquellos que contienen más del 35% de material fino que pasa en tamiz No.200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6, A-7.

Grupo A-4.

A este grupo pertenecen los suelos limosos poco nada plástico que contienen el 75% o más de material fino que pasa el tamiz No.200. Además se incluyen a este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta un 64%.

Grupo A-5.

Los suelos comprendidos a este grupo son semejantes a los del anterior, pero contienen diatomita, son elásticos y tienen un límite líquido elevado.

Grupo A-6.

El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos 75% de estos suelos debe pasar el tamiz No.200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%. Estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados secos y húmedos.

Grupo A-7.

Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados.

Subgrupo A-7-5: Incluyen aquellos materiales cuyos índices no son muy altos con respecto a su último límite líquido.

Subgrupo A-7-6: Comprende aquellos suelos cuyos índices de plasticidad son muy elevados con respecto a su límite líquido y que, además experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.

1.2.4.1.3 Índice de grupo.

Aquellos suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo, y están representados por un determinado índice. La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pase el tamiz No.200. Los índices de grupo de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a los suelos limosos entre 8 y 12, y los de suelo arcillosos entre 11 y 20 o más. Cuando se indica el índice de grupo hay que colocarlo entre paréntesis. Así por ejemplo, A-2-4 (1), quiere decir un suelo A-2-4 cuyo índice de grupo es uno.

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(W_L - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F: porcentaje que pasa por el tamiz abertura 0.08mm, expresado en números enteros.

WL: Limite Liquido

IP: índice de plasticidad

Este índice de grupo se informa en números enteros y si es negativo su valor será igual a 0 (cero). El grupo en que se clasifique, incluyendo el índice de grupo, será utilizado para determinar la calidad relativa de suelos para terraplenes, material de subrasante, subbases y bases.

1.2.4.2 Sistema SUCS.

El “sistema unificado de clasificación de suelos” deriva de un sistema desarrollado por Arthur Casagrande para agrupar e identificar en forma rápida en obras militares durante la guerra.

Este sistema divide los suelos en 2 grandes grupos, uno de granos gruesos y otro de granos finos. De esta forma el sistema comienza a darnos las nomenclaturas que representan a un determinado tipo de suelo.

1.2.5 Aspectos a Considerar en un estudio de suelo.

Para fines de diseño es conveniente que un estudio de suelos abarque los siguientes temas:

1.2.5.1 Exploración.

La exploración del suelo tiene por finalidad definir el tipo y capacidad de soporte de los suelos de fundación. También como la hemos denominado la calidad de la sub-rasante. Se deben efectuar:

- ✓ Calicatas como mínimo cada 250m.
- ✓ La profundidad mínima recomendada es de 1.50m de acuerdo al Manual para la Revisión de Estudios de suelos.

1.2.5.2 Caracterización de los suelos.

Visualmente se clasifica a los suelos en grupos básicos tales como: grava, arena, limos y arcillas. Generalmente el método empleado es la observación directa propiamente en campo, tales como:

- Textura
- Forma de los granos
- Granulometría
- Plasticidad

1.2.5.3 Propiedades físico – mecánicas.

Las propiedades físico – mecánicas son las características usadas para la selección de los materiales, para las especificaciones de construcción y para el control de la calidad. Estas se determinan con los siguientes ensayos:

Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado y para analizar las partículas más finas se tiene que recurrir a procedimientos por sedimentación.

Limite Líquido.

Se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

Limite plástico.

Se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Índice de plasticidad.

Diferencia numérica entre los números líquidos y plásticos, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico.

Prueba de Proctor.

La prueba de Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene por objeto:

- a) Determinar el peso volumétrico seco máximo $\gamma_{secamax}$ que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima h_{opt} a la que deberá realizarse la compactación.
- b) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, aeropuertos y calles, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

Capacidad de soporte (CBR)

El valor relativo de soporte de un suelo (C.B.R) es un índice de su resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. Se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón a la misma profundidad en una muestra de tipo piedra triturada. El CBR que se usa para proyectar, es el valor que se obtiene para una profundidad de 0.1 pulgadas.

1.3. METODOLOGIA

La metodología empleada para la realización de los estudios de suelos comprende básicamente una investigación de campo a lo largo del eje de la carretera del tramo en estudio. Mediante la ejecución de sondeos manuales se extrajeron muestras representativas para luego ser sometidas a ensayos de laboratorio.

1.3.1 Trabajo de campo

Con el propósito de identificar y realizar la evaluación geotécnica del suelo de la sub-rasante existente a lo largo del trazo del camino, se llevó a cabo la excavación de sondeos manuales y recolección de muestras para ser ensayadas.

Se realizaron en total 5 sondeos manuales con una profundidad máxima de 1.5 metros de manera alterna, es decir, al centro, derecha e izquierda del eje central de la vía. La localización y estación de cada sondeo realizado se muestra en la tabla N° 1.

De cada estrato de suelo encontrado en cada uno de los sondeos, se tomaron muestras representativas las cuales fueron clasificadas, empaquetadas en bolsas plásticas y trasladadas al laboratorio para realizarle los ensayos necesarios.

Tabla N° 1. Sondeos Realizados.

Localización	Estación
Tramo de calle que une los barrios Lucidia Mantilla – Sor María Romero.	0 + 000
	0 + 350
	0 + 700
	1 + 050
	1 + 365

Fuente: Elaboración Propia.

1.3.2 Ensayos de laboratorio.

Se agruparon las muestras obtenidas en el campo y se le realizaron los ensayos por cada tipo de variación estratigráfica haciendo uso de los procedimientos y especificaciones establecidas por las normas AASHTO. En la tabla N° 2 se muestran los diferentes ensayos realizados.

Las muestras se analizaron en el laboratorio de materiales y suelos Julio Padilla M de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP) bajo la supervisión del técnico de dicho laboratorio.

Tabla N° 2. Ensayos de laboratorios

Tipo de Ensayo	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis granulométrico de los suelos	T 88
Límite líquido de los suelos	T 89
Índice de plasticidad de los suelos	T 90
Pesos Unitarios	T 19
Ensaye Proctor Estándar Modificado	T 180
Ensaye C.B.R.	T 193

Fuente: Elaboración propia.

1.3.3 Resultados Obtenidos.

En la tabla N° 3 “Resultados de Ensayos de sondeo de línea”, se presenta un resumen de las propiedades de los suelos provenientes de los diferentes ensayos realizados a las diversas muestras extraídas.

1.3.3.1 Sondeos de Línea

A continuación se presenta la información individual para cada muestra obtenida de los diferentes sondeos realizados a lo largo del tramo.

Estación 0+000

En este primer sondeo se obtuvieron 2 muestras; la profundidad de la muestra N° 1 es de 0 - 0.4 m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como gravas y arenas arcillosas y limosas tipo A-2-4(0) y como un suelo GC (gravas arcillosas) según SUCS; la muestra N° 2 se encontró a una profundidad de 0.4-1.50m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como suelos arcillosos tipo A-7-6(19) y como un suelo MH (limos inorgánicos) según SUCS.

Estación 0+350

En el segundo sondeo se obtuvieron 2 muestras; la profundidad de la muestra N° 1 es de 0 - 0.4 m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como gravas y arenas arcillosas y limosas tipo A-2-4(0) y como un suelo SC (arena arcillosa) según SUCS; la muestra N° 2 se encontró a una profundidad de 0.4-1.50m, un

suelo que según la AASHTO se clasifica como gravas y arenas arcillosas y limosas tipo A-2-6(0) y como un suelo GC (gravas arcillosas) según SUCS.

Estación 0+700

En el tercer sondeo se obtuvieron 2 muestras; la profundidad de la muestra N° 1 es de 0 - 1 m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como gravas y arenas arcillosas y limosas tipo A-2-4(0) y como un suelo SC (arena arcillosa) según SUCS; la muestra N° 2 se encontró a una profundidad de 1-1.50m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como gravas y arenas arcillosas y limosas tipo A-2-7(0) y como un suelo GM (grava limosa) según SUCS.

Estación 1+050

De este cuarto sondeo se obtuvieron 2 muestras; la profundidad de la muestra N° 1 es de 0 – 0.4 m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como fragmento roca grava y arena tipo A-1-a (0) y como un suelo GM-CG (gravas limosas - gravas arcillosas) según SUCS; la muestra N° 2 se encontró a una profundidad de 0.4-1.50m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como suelos arcillosos tipo A-7-6(21) y como un suelo CH (arcilla de alta plasticidad) según SUCS.

Estación 1+365

De este quinto sondeo se obtuvieron 2 muestras; la profundidad de la muestra N° 1 es de 0 – 0.4 m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como gravas y arenas arcillosas y limosas tipo A-2-4 (0) y como un suelo SM (arenas limosas) según SUCS; la muestra N° 2 se encontró a una profundidad de 0.4-1.50m, un suelo que según la AASHTO se clasifica como suelos arcillosos tipo A-7-5(3) y como un suelo SM (arenas limosas) según SUCS.

Tabla N° 3. Resultados de ensayos de sondeo de línea.

Sondeo	Muestra	Profundidad	% Que Pasa Por el Tamiz										L.L	I.P	Clasificación	
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	(%)	(%)	SUCS	AASHTO
sm-1	1	0.00-0.40	-	100	96	83	66	56	34	26	18	15	31.94	9.38	GC	A-2-4(0)
	2	0.40-1.50	-	100	100	100	100	100	100	98	95	91	60.42	12.98	MH	A-7-6(19)
sm-2	1	0.00-0.40	-	100	99	86	78	70	55	48	29	17	30.5	10.3	SC	A-2-4(0)
	2	0.40-1.50	-	100	90	82	70	61	43	36	23	16	37.5	13	GC	A-2-6(0)
sm-3	1	0.00-1.00	-	100	96	83	76	71	58	46	30	21	27.5	7.5	SC	A-2-4(0)
	2	1.00-1.50	-	100	89	71	43	39	35	32	23	17	46.3	19.5	GM	A-2-7(0)
sm-4	1	0.00-0.40	-	100	96	85	69	59	40	33	20	13	23.7	5	GM-GC	A-1-a(0)
	2	0.40-1.50	-	100	97	92	90	86	75	73	70	64	56.9	36.1	CH	A-7-6(21)
sm-5	1	0.00-0.40	-	100	94	88	76	69	56	48	29	23	35.6	10.3	SM	A-2-4(0)
	2	0.40-1.50	-	100	95	87	71	65	59	55	43	37	53.7	21.4	SM	A-7-5(3)

Fuente: Elaboración propia.

1.3.3.2 Estratigrafía del suelo.

A partir de los registros tomados en el campo y los ensayos de laboratorios se elaboró una columna estratigráfica en la que se puede apreciar la profundidad y espesor de las diversas capas descubiertas en la excavación de los sondeos (Figura N° 1).

Figura N° 1. Columna Estratigráfica.

Estación	0+000	0+350	0+700	1+050	1+365
Profundidad (m)	Sondeo 1	Sondeo 2	Sondeo 3	Sondeo 4	Sondeo 5
0.10	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-1-a(0)	A-2-4(0)
0.20					
0.30					
0.40					
0.50	A-7-6(19)	A-2-6(0)		A-7-6(21)	A-7-5(3)
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10			A-2-7(0)		
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					

Fuente: Elaboración propia.

1.3.4 Determinación del CBR de diseño.

Se encontraron los valores de CBR para cada uno de los estratos de suelos localizados en los sondeos de línea; haciendo uso de la tabla de relación aproximada entre la clasificación del suelo y CBR (ver anexo 1, pág. IV), tomando los valores promedios de cada uno. Estos valores se presentan en la tabla siguiente:

Tabla N° 4. Valores aproximados de CBR.

Tipo de Suelo	Valor de CBR (%)
A-7-6	5
A-7-5	5
A-2-6	16
A-2-4	46
A-1-a	55

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación del CBR de diseño se utilizará el criterio del percentil del instituto de asfalto de acuerdo al valor de ejes equivalentes. El valor ESAL'S para este caso es de 1,951,168 (ver capítulo 2, pág. 45) que corresponde al 87.5%. Ver tabla N° 5.

Tabla N° 5. Límites de Resistencia.

Límites para Selección de Resistencia.	
Número de ejes de 8.2 ton en el Carril de diseño (n)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$< 10^4$	60
10^4 a 10^6	75
$> 10^6$	87.5

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Segunda Edición 2001.

Los valores que serán utilizados para la obtención del CBR de subrasante fueron escogidos de acuerdo a las siguientes consideraciones:

1. Los primeros 40 cm de material (suelo) de todo el tramo es un relleno y según la AASHTO lo clasifica como un suelo excelente a bueno. Ver figura N° 1.

2. El tramo cuenta con cunetas por lo que no podríamos subir el nivel de la rasante y si quitamos la primera capa de suelo nos quedaría por debajo un suelo de menor calidad. Ver figura N° 1.

3. De acuerdo a lo anterior consideramos cortar 70 cm a lo largo del tramo y acopiar los primeros 40 cm de material puesto que es de buena calidad y desechar los 30 restante; posteriormente rellenar los 40 cm de material acopiado y tener así una subrasante de mucha mejor calidad.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores el tipo de suelo que nos quedaría sería A-2-4 y A-1a, los cuales serán utilizados para determinar el CBR de diseño de subrasante.

En la tabla N 6 se presenta el tipo de suelo y su valor promedio de CBR extraídos de la tabla de relación aproximada entre la clasificación del suelo y CBR (ver anexo 2, pág. VII).

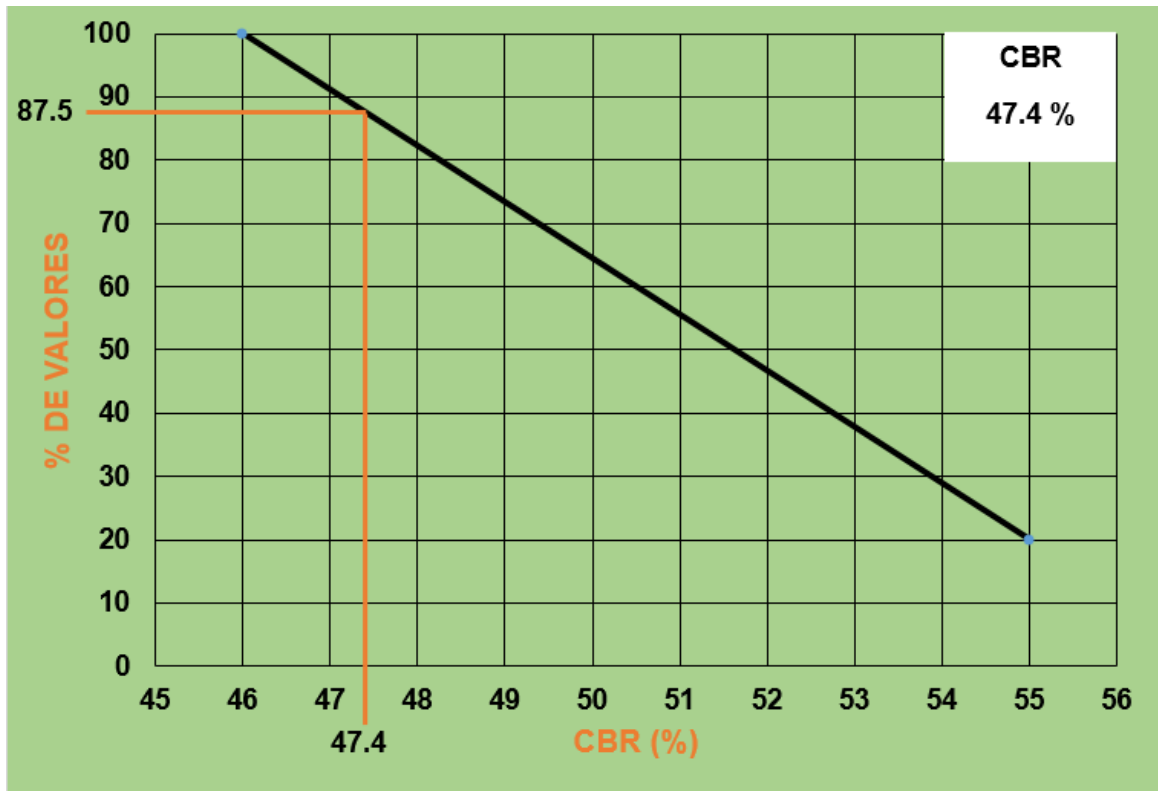
Tabla N° 6. Valores para determinar CBR de diseño.

Tipo de suelo	CBR	Frecuencia	Numero de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
A-2-4	46	4	2	5/5= 100
A-1a	55	1	1	1/5= 20

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Segunda Edición 2001.

A partir de los valores calculados anteriormente se realiza un gráfico que relacione los valores de CBR con los porcentajes correspondientes a cada uno y se determina el valor de CBR para el percentil elegido según la tabla N° 5.

Gráfico N° 1. Valor de CBR de Diseño.



Fuente: Elaboración propia.

1.3.5 Banco de Materiales.

Con el propósito de obtener un material adecuado para la cimentación del tramo en estudio se analizaron 2 bancos de materiales (Fino y Grueso) en la Zona el Galpón ubicado en el Km 121 ½ carretera Managua – Matagalpa. La alcaldía municipal de Matagalpa trabaja con una combinación de estos bancos (70/30) predominando el banco grueso. Dichos bancos fueron analizados individualmente y en combinaciones (70/30 y 80/20) con predominio del banco grueso y a su vez fueron sometidos a pruebas de laboratorios para conocer sus propiedades y cuyos resultados se presentan en la tabla N° 7.

El banco fino según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS se clasifica como un suelo GC (grava arcillosa) y como un A-2-4(gravas y arenas arcillosas y limosas) según la clasificación AASHTO; con un valor de CBR de 26.5%, humedad óptima de 14.2% y densidad seca máxima de 1750 kg/m³.

El banco grueso según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS se clasifica como un suelo GW (grava bien graduada) y como un A-1-a (fragmento roca grava y arena) según la clasificación AASHTO; con un valor de CBR de 84%, humedad óptima de 6.1% y densidad seca máxima de 2020 kg/m³.

La combinación 70/30 según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS se clasifica como un suelo GP-GC (grava mal graduada con arcilla) y como un A-2-4(gravas y arenas arcillosas y limosas) según la clasificación AASHTO; con un valor de CBR de 71%, humedad óptima de 9.5% y densidad seca máxima de 2020 kg/m³.

La combinación 80/20 según el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS se clasifica como un suelo GC-GP (grava mal graduada con arcilla) y como un A-2-4(gravas y arenas arcillosas y limosas) según la clasificación AASHTO; con un valor de CBR de 81%, humedad óptima de 7.2% y densidad seca máxima de 1991 kg/m³.

Tabla N° 7. Resultados de ensayos de laboratorio de los bancos de materiales.

Banco	PVSS	PVSC	Densidad	Hum.	CBR	% Que Pasa Por el Tamiz										L.L	I.P	Clasificación	
Nombre	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	%	95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	(%)	(%)	SUCS	AASHTO
FINO	1386	1563	1750	14.2	26.5	100	100	100	93	83	76	59	41	32	25	32	9.3	GC	A-2-4
GRUESO	1580	1796	2020	6.1	84	100	91	72	54	31	20	13	6	3	2	20.3	5.5	GW	A-1-a
70/30	1512	1733	1962	9.5	71	100	100	82	68	49	39	30	19	14	12	24.5	8	GP-GC	A-2-4
80/20	1556	1762	1991	7.2	81	100	93	79	61	42	32	23	16	10	8	23.4	7.4	GC-GP	A-2-4

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO II

ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1. INTRODUCCION

Al proyectar una carretera o calle es de vital importancia que se conozcan y estudien las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito al interior de la arteria vial constituyente de la infraestructura física o componente estático de los sistemas de tránsito, para así garantizar el adecuado funcionamiento de carreteras o calles.

Los análisis de tránsito juegan un papel fundamental en la elaboración de diseños de estructuras de rodamiento, ya que al realizar un estudio de tránsito nos damos cuenta de la situación actual en la que se encuentra el camino que se pretende diseñar o rehabilitar; para las vías ya existentes los resultados obtenidos de este estudio realizado servirán para estimar y plantear soluciones a problemas de tránsito.

2.2. GENERALIDADES

2.2.1 Definición.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas, sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras o calles. Dichos datos se expresan en relación con el tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios.

Estos estudios varían desde los muy amplios en toda una red o sistema vial, hasta los muy sencillos en lugares específicos tales como en intersecciones aisladas, puentes, casetas de cobro, túneles, etc.

Las razones para llevar a cabo los estudios de volúmenes de tránsito son tan variadas como los lugares mismos donde se realizan.

El tipo de datos recolectados en un estudio de volúmenes de tránsito depende mucho de la aplicación que se le vaya a dar a los mismos. Así por ejemplo, algunos estudios requieren detalles como la composición vehicular y los movimientos direccionales, mientras que otros sólo exigen conocer los volúmenes de tránsito totales y la configuración de las cargas.

2.2.2 Uso de datos de volúmenes de tránsito.

La información sobre volúmenes de tránsito es de gran utilidad en la planeación del transporte, diseño vial, operación del tránsito e investigación. Varios tipos de estudios de volúmenes y sus aplicaciones se ilustran en la siguiente tabla.

Tabla N° 8. Uso de volúmenes de tránsito.

TIPO DE VOLUMEN	APLICACIÓN
Volumen Promedio Diario (VPD): o volumen total de tránsito.	Estudios de tendencias, planeación de carreteras, programación de carreteras, selección de rutas, cálculo de tasas de accidentes, estudios fiscales, evaluaciones económicas.
Volúmenes Clasificados: por tipo de vehículo, numero de ejes, y/o peso.	Análisis de capacidad, diseño geométrico, diseño estructural, cómputos de estimados de recolección de impuestos de los usuarios de vialidades.
Volúmenes durante períodos de tiempo específicos: durante horas pico, horas valle (horas de menor volumen) y por dirección.	Aplicación de dispositivos de control del tránsito, vigilancia selectiva, desarrollo de reglamentos de tránsito, diseño geométrico.

Fuente: Ingeniería de tránsito "fundamentos y aplicaciones". 8va Edición.

2.2.3 Métodos de Muestreo.

A continuación se enumeran las modalidades más comúnmente usadas para aforos de tránsito.

2.2.3.1 Aforos Manuales.

Son aquellos que registran a vehículos haciendo trazos en un papel o con contadores manuales. Mediante éstos es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos por tipo, número de ellos que giran u ocupantes de los mismos. Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos e incluso 15 cuando el tránsito es muy denso. Para hacer los recuentos se deben preparar hojas de campo.

2.2.3.2 Contadores Mecánicos.

Son aquellos que emplean instrumentos para realizar el registro de vehículos, sin que se requiera de personal permanente. Estos instrumentos se basan en principios como el de la célula fotoeléctrica, presiones en planchas especiales o por medio de detectores magnéticos o hidráulicos.

Atendiendo a su movilidad los contadores pueden ser fijos o portátiles. Los fijos se usan para hacer recuentos continuos en ciertos lugares, mientras que los portátiles son más ligeros y se utilizan para hacer recuentos parciales durante períodos de tiempo limitados.

2.2.4 Estaciones de Aforo.

Para realizar una correcta y completa medida de las constantes vitales del tráfico a lo largo y ancho de la red viaria, se recurre al establecimiento de una serie de estaciones dedicadas al aforo de vehículos y situadas en puntos estratégicos previamente escogidos.

Evidentemente, no todas las estaciones realizarán medidas de la misma calidad; algunas, las situadas en zonas de gran tráfico, realizarán un conteo más exhaustivo y de mayor duración; otras, se limitarán al aforo en períodos restringidos de tiempo. Estas pueden distinguirse en tres tipos de estaciones:

Estaciones de Mayor Cobertura (EMC).

Son las estaciones de conteos continuos los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, pero debido al alto costo que repercute en la ejecución de estos aforos, el Ministerio no está en la capacidad de realizarlos los 365 días del año, por ende se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que nos es más que el promedio de los períodos.

Estaciones de Corta Duración (ECD).

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.

Estaciones de Conteo Sumaria (ECS).

Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

Tanto para las estaciones de Corta Duración y Conteo Sumaria, se realizarán conteos clasificado por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (Martes, Miércoles y Jueves).

2.2.5 Tipos de tráfico.

Para las proyecciones de tráfico es necesario partir de la definición de los tipos de tráfico que circulan por la vía, en este caso se tendrá:

Tráfico Normal.

Es el tráfico que crece de forma natural conforme crece la economía nacional, sin intervenciones que produzcan crecimientos picos.

Tráfico Generado.

Es el tráfico que circulará en el tramo en función de las mejoras a las condiciones de transporte, en mejoras a las condiciones de producción agropecuaria e industrial si existiese.

Tráfico Atraído.

Es el tráfico que llegará a la vía en vista de las mejoras que le proporcionara la intervención, este tráfico se desviara de otras vías para utilizar las mejoras, ya sea por asuntos de confort, de menores costos de operaciones, de mejores condiciones geométricos, de mejoras en la seguridad vial, por presentar menores distancias de viajes, etc.

2.2.6 Clasificación vehicular.

Los diferentes volúmenes de tráfico que se obtienen de las estaciones programadas durante el año y que clasifican los contadores de tráfico por automotores en ambos sentidos de circulación se caracterizaran en tres grupos:

2.2.6.1 Vehículos de Pasajeros.

Incluye todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de pasajeros y algunos acondicionados para la realización de tal actividad.

- **Motos:** Incluye todos los tipos de motocicletas tales, como mini motos, cuadra ciclos y taxi motos, etc.
- **Autos:** Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
- **Jeeps:** Se consideran todos los vehículos, conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como Toyota, Land Rover, Jeep, etc.
- **Camionetas:** Son todos los tipos De camionetas que tienen tinacos, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están destinadas a trabajos de cargas.

- **Microbús:** Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 4 pasajeros sentados.
- **Minibús:** Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
- **Bus:** Se consideran todos los tipos De buses para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 pasajeros sentados.

2.2.6.2 Vehículos de Carga.

- **Liviano de Carga:** Incluye todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de mercadería liviana y pesada.
- **Camión de Carga:** Son todos aquellos camiones tipo C2 (2 ejes) y C3 (3 ejes), con un peso mayor de 5 ton. También se incluyen las furgonetas de carga liviana. Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
- **Camión Carga Pesada:** Son aquellos vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<4.
- **Los Tx-Sx>5:** Se consideran las combinaciones tractor camión y semi remolque, que sea igual o mayor de 5 ejes.
- **Camión Combinado:** Son combinaciones camión-remolque, que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<4.
- **Cx-Rx>5:** Son combinaciones iguales que las anteriores, pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.

2.2.6.3 Equipo Pesado.

Se compone de los vehículos que no son utilizados para el transporte de personas o carga, sino para fines más específicos, como la agricultura y la construcción.

- **Vehículo Agrícola:** Se incluyen remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículos automotor, también se incluyen los tirados o

halados por tracción animal o humana. Son vehículos provistos de llantas de hule, siendo las traseras de gran tamaño. Muchas de ellas tienen un arado, con el cual efectúan faenas del campo agrícola. (Tractores, arados, cosechadoras, etc.)

- **Vehículos de Construcción:** Generalmente se utilizan en la construcción de carreteras, puentes y demás obras civiles, pueden ser de diferentes tipos, tales como: moto niveladoras, palas mecánicas, compactadoras, mezcladoras.

2.3. METODOLOGIA

La metodología empleada para definir los volúmenes de tránsito se basa fundamentalmente en la realización de aforos de tránsito en la calle o camino en estudio; para este aforo tomamos un solo punto como estación de conteo volumétrico.

2.3.1 Períodos de aforo de tránsito.

El aforo de tránsito realizado se hizo de forma manual durante 3 días consecutivos; esto debido a que el flujo vehicular del tramo en estudio no es muy variable. La duración de los conteos fue de 12 horas (6:00 am – 6:00 pm), registrando el tráfico por cada sentido de circulación.

2.3.2 Resultado de los aforos de tránsito.

Los resultados de los volúmenes de tránsito totales por cada tipo de vehículo y día de conteo; así como el tránsito promedio diurno de los aforos realizados se presentan en la tabla N° 9.

Tabla N° 9. Resultado de los aforos de Tránsito (12 Horas).

	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS						
	Moto	Autos	Jeep	Camioneta Pick UPs	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	Camión C2	C3	C4	Veh. Const	Total (Tp 12 hrs)
Día 1	495	154	20	190	12	51	94	57	32	5	2	0	1112
Día 2	454	145	17	174	12	53	98	46	27	3	0	0	1029
Día 3	536	173	28	232	16	54	98	47	29	7	2	1	1223
Total	1485	472	65	596	40	158	290	150	88	15	4	1	3364
TP Diurno	495	157	22	199	13	53	97	50	29	5	1	1	1122
TP Diurno (%)	44.12	13.99	1.96	17.74	1.16	4.72	8.65	4.46	2.58	0.45	0.09	0.09	100
	77.81					22.19							

Fuente: Elaboración propia.

La composición del tránsito para los aforos realizados indica que el 77.81% del flujo vehicular corresponde a vehículos livianos, predominando dentro de estos las motocicletas con un 44.12%. El 22.19% corresponde a vehículos pesados, con un predominio del 8.65% correspondiente a los buses.

2.3.3 Expansión Tránsito Diario y Semanal.

Debido a que los aforos se realizaron durante horas diurnas (6:00 am – 6:00pm), es necesarios expandir los resultados obtenidos a tránsito diario y tránsito semanal; mediante factores proporcionados en el Anuario de aforos de tráfico publicados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

En vista de lo anterior, se revisó la revista más reciente del anuario de tráfico (2014), tomando los factores correspondientes de la estación de conteo de mayor cobertura; partiendo de la dependencia de las estaciones de corta duración o conteo sumaria más cercana a la zona de objeto de estudio. Ver tablas N° 10 y N° 11.

La Estación de Corta Duración más cercana a la zona de estudio es “Ent. El Guayacán – Matagalpa” que está dentro de la Estación de Mayor Cobertura “101B Zona Franca – La Garita”.

Tabla N° 10. Dependencia de Estaciones 2014.

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	Pkm	NOMBRE DEL TRAMO
101B Zona Franca - La Garita	NIC-1	116A	ECD	16.5	La Garita - Emp. Los Pollos
	NIC-1	116B	ECD	22.0	Emp. Los Pollos - Punta de Plancha
	NIC-3	317	ECD	117.0	Quebrada Honda - Ent. El Guayacán
	NIC-3	301	ECD	124.7	Ent. El Guayacán - Matagalpa
	NIC-11B	1103	ECD	32.7	Emp. Las Flores - Ent. Monimbó
	NN-151	102	ECD	15.0	La Garita (Rotonda) - Tipitapa

Fuente: Anuario de aforos de tráfico, año 2014, División de Administración Vial, División General de Planificación, Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Tabla N° 11. Factores de Expansión 2014, Estación de Mayor Cobertura “Zona Franca – La Garita”.

Segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx- Sx<=4	Tx- Sx>=5	Cx- Rx<=4	Cx- Rx>=5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.25	1.42	1.28	1.33	1.27	1.29	1.23	1.36	1.47	1.39	1.00	1.57	1.00	1.00	1.00	1.00	1.21
Factor Semana	0.92	0.96	0.94	0.94	0.92	0.93	0.93	0.89	0.88	0.88	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.07
Factor Fin de Semana	1.30	1.13	1.20	1.18	1.29	1.22	1.23	1.46	1.55	1.55	1.00	1.37	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87
Factor Expansión a TPDA	1.04	1.14	1.05	1.16	0.93	0.76	1.05	1.09	1.31	1.10	1.00	1.04	1.00	1.00	1.81	2.33	0.74

Fuente: Anuario de aforos de tráfico, año 2014, División de Administración Vial, División General de Planificación, Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Una vez obtenidos los factores de expansión correspondientes a la Estación de Mayor Cobertura, se procede a calcular la expansión del tránsito promedio diurno a tránsito promedio diario y semanal con las siguientes ecuaciones:

$$TP_{diario} = TP_{diurno} \times \text{Factor día} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$TPD_{semanal} = TP_{diario} \times \text{Factor semana} \quad (\text{Ec. 2})$$

Haciendo uso de las ecuaciones anteriores calcularemos el tránsito promedio diario y semanal para el caso de las motos y de la misma manera se hará para cada tipo de vehículo.

$$TP_{diario} = 495 \times 1.24 = 614 \text{ veh/día}$$

$$TPD_{semanal} = 614 \times 0.92 = 565 \text{ veh/día}$$

En las tablas N° 12 y N° 13 se presenta la expansión a tránsito promedio diario y tránsito promedio semanal para cada tipo de vehículo.

Tabla N° 12. Tránsito Promedio Diario.

	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS						
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta Pick UPs	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	Camión C2	C3	C4	Veh Const	Total
TP Diurno	495	157	22	199	13	53	97	50	29	5	1	1	1122
Factor. Día	1.24	1.42	1.28	1.33	1.27	1.29	1.23	1.36	1.47	1.39	1.21	1	1.13
TP Diario	614	223	29	265	17	69	120	68	43	7	2	1	1458

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 13. Tránsito Promedio Diario Semanal.

	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS						
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta PicK UPs	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	Camión C2	C3	C4	Veh Const	Total
TP Diario	614	223	29	265	17	69	120	68	43	7	2	1	1458
Factor. Sem.	0.92	0.96	0.94	0.94	0.92	0.93	0.93	0.89	0.88	0.88	1.07	1	
TPD sem.	565	214	28	249	16	65	112	61	38	7	3	1	1359

Fuente: Elaboración propia.

2.3.4 Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual.

De la misma manera que se calculó el TPD Y TPDS se calculará el tránsito promedio diario anual (TPDA) con la siguiente ecuación:

$$TPD_{anual} = TPD_{semanal} \times \text{Factor expansión a TPDA} \quad (\text{Ec. 3})$$

Siguiendo el ejemplo anterior, para las motos se tiene un TPDA:

$$TPD_{anual} = 565 \times 1.04 = 588 \text{ veh/día}$$

En la tabla N° 14 se muestra el tránsito promedio diario anual (TPDA) para cada tipo de vehículo.

Tabla N° 14. Tránsito Promedio Diario Anual.

	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULOS PESADOS						
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta PicK <u>UPs</u>	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	Camión C2	C3	C4	Veh Const	Total
TPD Sem	565	214	28	249	16	65	112	61	38	7	3	1	1359
Factor Expansión	1.04	1.14	1.05	1.16	0.93	0.76	1.05	1.09	1.31	1.1	0.74	2.33	
TPDA	588	244	30	289	15	50	118	67	50	8	3	3	1465
TPDA (%)	40.14	16.66	2.05	19.73	1.02	3.41	8.05	4.57	3.41	0.55	0.20	0.20	100
	78.58					21.41							

Fuente: Elaboración propia.

2.3.5 Proyección del Tráfico.

Los volúmenes de tránsito futuro para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual y del incremento de tránsito. La ingeniería de tránsito no cuenta con un valor que refleje el crecimiento vehicular futuro; por lo que para realizar la proyección del tráfico futuro se toman parámetros (registros históricos) que puedan proporcionar datos representativos, como son el producto interno bruto (PIB), tránsito promedio diario anual (TPDA) y tasa anual de crecimiento poblacional.

Para la proyección del tráfico del proyecto se debe tomar en cuenta los principales indicadores de crecimiento que presenta la zona en la que se ubica el camino en estudio. Se obtuvieron registros históricos del producto interno bruto (PIB), del tránsito promedio diario anual (TPDA) y de la Tasa anual de crecimiento promedio poblacional.

De acuerdo a lo anterior se obtuvo la siguiente información:

1. La tasa promedio anual de crecimiento del producto interno bruto (PIB) del país para los últimos 5 años (2010-2014) ha sido del 4.74%. Ver tabla N° 15.

Tabla N° 15. Producto Interno Bruto (PIB).

Año	2010	2011	2012	2013	2014
PIB (US\$ Millones)	8,938	9,899	10,645	11,256	11,806
Crecimiento PIB	3.2%	6.2%	5.1%	4.5%	4.7%
Promedio PIB	4.74%				

Fuente: Banco Central de Nicaragua

2. La tasa promedio de crecimiento anual vehicular para los últimos 5 años en la Estación permanente N° 101B Zona Franca – La Garita ha sido del 1.88%. Ver tabla N°16.

Tabla N° 16. Tasa de Crecimiento en estaciones Permanentes.

N°	CODIGO NIC	EST.	NOMBRE DEL TRAMO	TASAS				
				2010	2011	2012	2013	2014
1	NIC-1	101B	Zona Franca - La Garita	2.08%	0.70%	1.90%	2.31%	2.42%
2	NIC-1	107	Sébaco - Emp. San Isidro	3.04%	4.59%	4.75%	4.60%	4.79%
3	NIC-2	200	Entrada al INCAE - El Crucero	2.52%	4.14%	4.30%	4.07%	4.54%
4	NIC-3	300	Sébaco - Quebrada Honda	4.94%	4.27%	4.83%	4.30%	4.68%
5	NIC-4	401	Masaya - Granada	0.037%	2.42%	2.51%	3.44%	2.90%
6	NIC-7	700	Emp. San Francisco - Tecolostote	5.73%	5.10%	5.40%	5.28%	5.00%
7	NIC-12A	1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	4.73%	5.10%	5.47%	5.47%	4.51%

Fuente: Revista de conteos volumétricos de tránsito, año 2014, División de Administración Vial, División General de Planificación, Ministerio de Transporte e Infraestructura.

- La tasa anual de crecimiento poblacional del municipio de Matagalpa para el período 2013-2017 es del 5.3%. ver tabla N° 17.

Tabla N° 17. Proyecciones de Población.

Período	T.A.C. (%)	Población (hab)	Incremento Poblacional (hab)	60% urbano
Año 2013	5.3	209,980	-	125,988
Corto Plazo 2013-2017		245,517	35,537	147,310
Mediano Plazo 2018-2022		287,068	41,551	172,241
Largo Plazo 2023-2027		335,651	48,583	201,391

Fuente: proyecciones del departamento de ordenamiento territorial- AMUPNOR-2013

En vista que se prevé que la elaboración del diseño proyectado para esta vía traerá consigo un mayor desarrollo económico, por lo que la zona será más atractiva para asentamientos humanos y debido a las constantes migraciones que ha tenido el municipio durante los últimos años debido a las mejoras en cuanto a los servicios básicos, se considera utilizar un factor de tasa de crecimiento de 3.5%.

2.3.6 Período de Diseño

Es el número de años para el cual se diseña específicamente el pavimento, generalmente varía entre los ocho (8) y veinte (20) años, dependiendo del tipo de vía. Los períodos de diseño recomendados en el manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales SIECA se muestran en la tabla N° 18.

Para el tramo en estudio se tomó un período de diseño de 15 años.

Tabla N° 18. Períodos de Diseño.

Tipo de Carretera	Período de diseño (años)
Autopista Regional	20 - 40
Troncales Suburbanas	15 – 30
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 - 20
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA.

2.3.7 Cálculo de la proyección del tránsito.

Una vez definida la tasa de crecimiento y el período de diseño se procede a proyectar el tránsito promedio diario haciendo uso de la ecuación 1 y cuyos resultados se presentan en la tabla N° 19.

$$TPDA = TPDA_0 \times (1 + i)^n \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

TPDA = tránsito promedio diario anual para un período n.

TPDA₀ = tránsito promedio diario anual inicial.

i = tasa de crecimiento (3.5 %).

n = período de diseño de la vía, n = 15 años.

**Tabla N° 19. Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual para un
Período de 15 años.**

	VEHICULOS LIVIANOS					VEHICULOS PESADOS							Total
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta PicK UPs	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	Camión C2	C3	C4	Veh Const	
TPDA (2015)	588	244	30	289	15	50	118	67	50	8	3	3	1465
TPDA (2030)	985	409	50	484	25	84	198	112	84	13	5	5	2454
TPDA (%)	40.14	16.66	2.05	19.73	1.02	3.41	8.05	4.57	3.41	0.55	0.20	0.20	100
	78.58					21.41							

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.8 Tránsito de Diseño.

Este es el valor acumulado del tránsito durante el período de diseño y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TD = T_0 \times Fcr \times Fd \times Fc \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

TD: tránsito de diseño.

To: tránsito inicial.

Fcr: factor de crecimiento.

Fd: factor de distribución por dirección.

Fc: factor de distribución por carril.

2.3.9 Factor de Crecimiento (Fcr).

La AASHTO recomienda calcular el factor de crecimiento para el tránsito de todo el período de diseño mediante la siguiente ecuación:

$$Fcr = 365 \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

Fcr: factor de crecimiento.

i: tasa de crecimiento (3.5%).

n: períodos de diseño de la vía, n=15 años.

365: días del año

$$Fcr = 365 \times \left[\frac{(1+0.035)^{15}-1}{0.035} \right] = 7,042.92$$

2.3.10 Factor de distribución por dirección (Fd).

Es el factor del total del flujo vehicular contado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. En la tabla siguiente se muestran los valores utilizados por la AASHTO.

Tabla N° 20. Factor de distribución por dirección.

Número de Carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o mas	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

Por lo tanto para este caso se considera un factor de distribución por dirección del 50% (0.5) del tránsito para cada dirección.

2.3.11 Factor de distribución por carril.

Es aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. La vía en estudio va a diseñarse con un carril en una sola dirección y cuyo valor es de 1 según la tabla N° 21.

Tabla N° 21. Factor de distribución por Carril.

Número de carriles en una sola dirección	LC
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

2.3.12 Cálculo de Tránsito de Diseño.

Una vez definido los valores de cada uno de los factores que forman parte de la ecuación 5 ($TD = T_0 \times F_{cr} \times F_d \times F_c$) se procede a calcular el tránsito de diseño para cada tipo de vehículo. Estos cálculos se pueden observar y verificar en la tabla N° 22.

Tabla N° 22. Tránsito de Diseño.

Tipo de Vehículo	To(2015)	FC	Fd	Fc	Tránsito de Diseño
Autos	244	7,042.92	0.50	1.00	859,236.24
Jeep	30	7,042.92	0.50	1.00	105,643.80
Camionetas	289	7,042.92	0.50	1.00	1017,701.94
Mbus	15	7,042.92	0.50	1.00	52,821.90
MB>15p	50	7,042.92	0.50	1.00	176,073.00
Bus	118	7,042.92	0.50	1.00	415,532.28
C2 Liv	67	7,042.92	0.50	1.00	235,937.82
Camión C2	50	7,042.92	0.50	1.00	176,073.00
C3	8	7,042.92	0.50	1.00	28,171.68
C4	3	7,042.92	0.50	1.00	10,564.38
Veh. Const	3	7,042.92	0.50	1.00	10,564.38
Total	877.00				3,088,320.42

Fuente: Elaboración propia.

2.3.13 Determinación y cálculo de ejes equivalentes de diseño.

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de los factores equivalentes de carga para cada clase particular de vehículo.

El factor equivalente de carga o LEFs es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo eje.

La siguiente formula nos permite calcular el número de ESAL's de diseño:

$$ESAL's = TD \times LEFs \quad \text{(Ec. 7)}$$

Donde:

ESAL's: Ejes equivalentes de 80KN o 18 Kips.

TD: Tránsito de diseño.

LEFs: Factor equivalente de carga.

Para llevar a cabo el cálculo de los ESAL's de diseño se hizo uso del diagrama de cargas permisibles (ver anexo 2, pag.VII) y de las tablas de factores equivalentes de carga para pavimento flexible para un $P_t = 2$ y $SN = 5$ (ver anexo 2, pag. VIII y IX). Los resultados de estos cálculos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla N° 23. Resultado de ESAL's

Tipo de Vehículo	Peso por eje (libras)	Tipo de Eje	TD	LEFs	ESAL's de Diseño
Autos	2,200.00	Simple	859,236.24	0.00038	326.51
	2,200.00	Simple		0.00038	326.51
Jeep	2,200.00	Simple	105,643.80	0.00038	40.14
	2,200.00	Simple		0.00038	40.14
Camionetas	2,200.00	Simple	1017,701.94	0.00038	386.73
	4,400.00	Simple		0.00340	3460.19
Mbus	4,400.00	Simple	52,821.90	0.00340	179.59
	8,800.00	Simple		0.05020	2651.66
MB>15p	8,800.00	Simple	176,073.00	0.05020	8838.86
	17,600.00	Simple		0.92060	162092.80
Bus	11,000.00	Simple	415,532.28	0.12650	52564.83
	22,000.00	Simple		2.35000	976500.86
C2 Liv	8,800.00	Simple	235,937.82	0.05020	11844.08
	17,600.00	Simple		0.92060	217204.36
Camión C2	11,000.00	Simple	176,073.00	0.12650	22273.23
	22,000.00	Simple		2.35000	413771.55
C3	11,000.00	Simple	28,171.68	0.12650	3563.72
	36,300.00	Tandem		1.43250	40355.93
C4	11,000.00	Simple	10,564.38	0.12650	1336.39
	44,000.00	Tridem		0.68600	7247.16
Veh. Const	11,000.00	Simple	10,564.38	0.12650	1336.39
	22,000.00	Simple		2.35000	24826.29
TOTAL					1,951,167.92

CAPITULO III

DISEÑO DE PAVIMENTO

5.1. INTRODUCCION.

El diseño de pavimento tiene como objetivo proteger la subrasante de los esfuerzos causados por la carga del tránsito, principalmente de los vehículos pesados. Esa protección se suministra por medio de una estructura compuesta por varias capas de materiales con las propiedades físico-mecánicas que garanticen el desempeño del pavimento en el período de diseño.

Para la selección adecuada de la estructura del pavimento se requiere conocer la capacidad de soporte de la subrasante. Mientras más débil es la subrasante, es decir, mientras su capacidad de soporte sea menor, mayor protección será requerida.

Por tanto, la correcta evaluación de la subrasante y de las capas de la estructura del pavimento es uno de los aspectos claves del proceso de diseño. De la evaluación depende que las obras no sean sub diseñadas y fallen prematuramente, o lo contrario, que sean sobre diseñadas incrementando los costos de construcción de forma innecesaria.

5.2. GENERALIDADES.

5.2.1 Definición.

El pavimento es una estructura que se diseña y se forma mediante un conjunto de capas (subrasante, subbase, base y carpeta de rodamiento) construida sobre el suelo de fundación, con la finalidad de ser utilizado como una superficie apta para el libre tránsito de vehículos de tipo liviano, pesado y comercial; y donde la circulación se hace de manera rápida, confortable y segura.

5.2.2 Clasificación del pavimento.

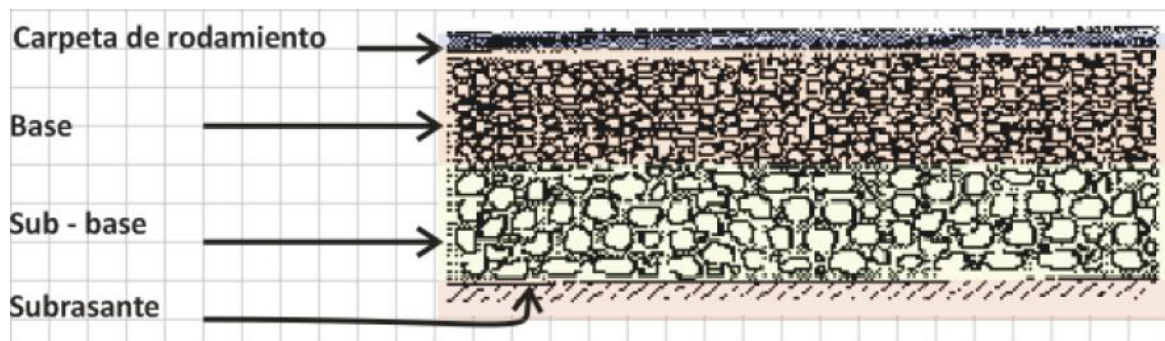
De manera general los pavimentos se clasifican atendiendo lo que se denomina una clasificación mecánica de su función, de esta manera:

- Pavimentos flexibles
- Pavimentos semi - rígidos
- Pavimentos rígidos
- Pavimentos articulados

5.2.2.1 Pavimentos flexibles.

Un pavimento flexible es una estructura que mantiene un contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la subrasante; su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión. Están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base.

Figura N° 2. Sección de un pavimento flexible.



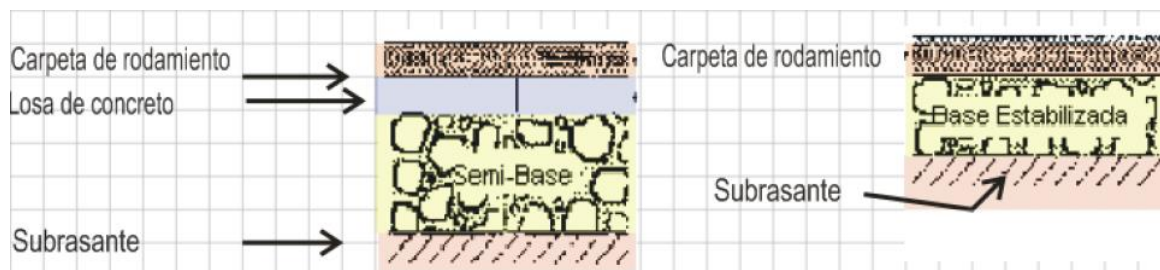
Fuente: Manual para la revisión de diseños de pavimentos, MTI.

5.2.2.2 Pavimentos semirrígidos.

Es un pavimento especial ya que es una estructura combinada compuesta por una carpeta bituminosa flexible apoyada sobre estructuras rígidas como losas antiguas de concreto o bases estabilizadas con cemento o similares. Su análisis es complejo debido a la diferencia de rigidez de las capas.

Si el espesor no es adecuado en ocasiones reflejan las grietas preexistentes en las losas de concreto. Guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible exceptuando su componente rígido.

Figura N° 3. Sección de un pavimento semirrígido.

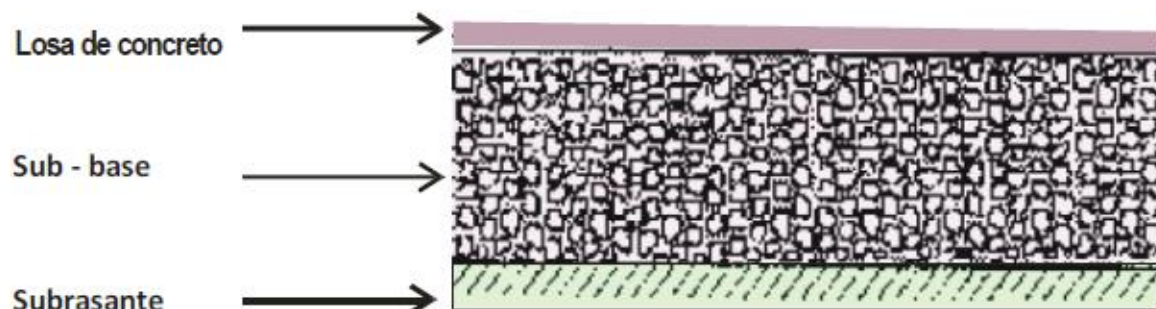


Fuente: Manual para la revisión de diseños de pavimentos, MTI.

5.2.2.3 Pavimentos rígidos.

Está conformado superficialmente por losas de concreto apoyadas sobre una estructura granular calculada de acuerdo a la capacidad de soporte del terreno, que en algunos casos se denomina sub-base, y al volumen del tránsito, para garantizar su rigidez. Se le llama rígido porque al ser sometido a las cargas del tránsito deben ser prácticamente nulas las deformaciones que ocurran.

Figura N° 4. Sección de un pavimento rígido.



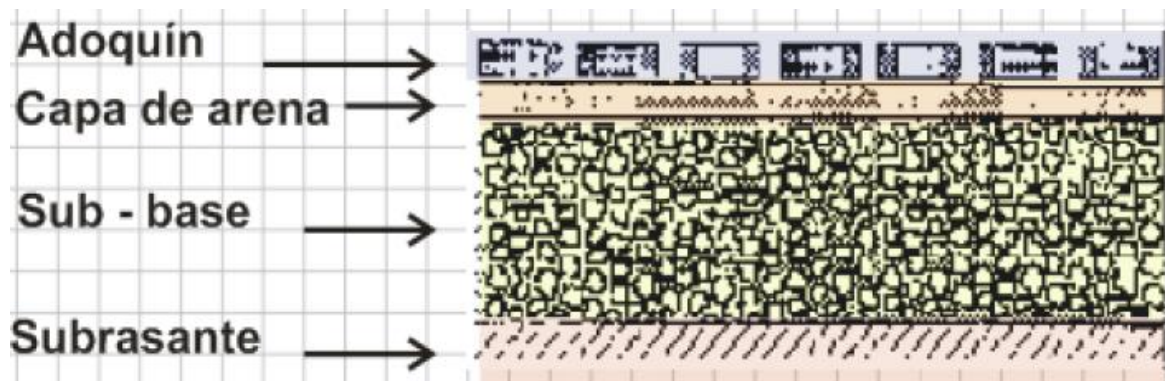
Fuente: Manual para la revisión de diseños de pavimentos, MTI.

5.2.2.4 Pavimento articulado o de adoquines.

Está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines; se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de sub-base o directamente sobre la

sub-rasante. Su diseño, como todo pavimento, debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de la subrasante para prevenir su deformación.

Figura N° 5. Sección de un pavimento articulado o adoquinado.



Fuente: Manual para la revisión de diseños de pavimentos, MTI.

5.2.3 Estructura de un Pavimento Articulado.

Sub rasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Sub - Base.

Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura, su principal función es aumentar la capacidad de la estructura del pavimento. Esta capa puede estar compuesta por dos o más materiales seleccionados, en la cual se podrán utilizar material granular, suelos estabilizados o concreto pobre.

Capa de Arena.

Es de poco espesor y el material usado es arena gruesa y limpia, libre de materia orgánica. Esta capa sirve como asiento para colocar los adoquines y a su vez contribuye con la filtración del agua que ocasionalmente pueda penetrar por las juntas entre los mismos.

Adoquines.

Deben tener propiedades y características para poder resistir adecuadamente las cargas de tránsito y fundamentalmente el desgaste producido por este. Deben cumplir con los siguientes requisitos geométricos y de resistencia, como: forma, color, textura, resistencia al desgaste, resistencia a la flexión y compresión.

5.2.4 Ventajas del pavimento de adoquín.

Las ventajas de estos pavimentos se basan en que su capa de rodadura está hecha con adoquines de concreto; es decir, piezas prefabricadas, que se pueden producir tanto en equipos sencillos y pequeños como en tecnificados y grandes; por parte de productores comerciales, grupos comunitarios o administraciones municipales; sin importar la escala y la localización de los proyectos. Para su construcción se utiliza poca maquinaria básicamente una placa vibro compactadora ("ranita") y mucha mano de obra local.

Como los adoquines no van pegados sino unidos por compactación, y como deben durar unos 40 años, al reparar el pavimento se pueden reutilizar, por lo cual son muy económicos para poblaciones o barrios sin redes de servicios completas o en mal estado.

Todos los materiales para este pavimento llegan a la obra listos para ser utilizados, por lo cual se puede construir y dar al servicio en un mismo día. Esto permite desarrollar un programa de pavimentación por etapas, a medida que se va disponiendo de recursos.

Al pavimento de adoquines se le coloca una base que se diseña para que resista cualquier tipo de tránsito, desde el peatonal hasta el de camiones. Adicionalmente, como los adoquines se producen en máquina, con moldes, se les pueden dar distintas formas; y también colores, para que sean decorativos.

Por esto, el pavimento de adoquines se utiliza desde zonas para tránsito peatonal (andenes, plazas, patios para juegos, instalaciones deportivas, etc.) hasta las de tránsito pesado (calles, carreteras, terminales de transporte, carga y puertos, pistas para aeropuertos) e inclusive para fines decorativos.

5.2.5 Factores Para el Diseño.

Dentro de los factores a considerar para el diseño de pavimento tenemos:

Tránsito.

Para el dimensionamiento de un pavimento es necesario determinar los efectos que las cargas de los vehículos causarán sobre el pavimento, por lo cual se debe conocer el número y tipo de vehículos que circularán por una vía, así como la intensidad de la carga y la configuración del eje que la aplica, durante el período de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales en el cálculo.

Subrasante.

Los pavimentos deben asentarse sobre subrasantes constituidas por materiales que reúnan requisitos mínimos según las normas, claramente establecidas. El espesor que debe tener un pavimento ya sea flexible o rígido, depende directamente de la calidad de los materiales de la subrasante. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte (CBR) o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, las eventuales variaciones de volúmenes (hinchamiento-retracción) y la resistencia.

Los cambios de volúmenes de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construye un pavimento sobre este tipo de suelo deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de

enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún tipo de aditivo.

Estudio y calidad de los materiales.

La construcción de pavimentos es muy exigente en cuanto al control de calidad que se debe aplicar desde el diseño, fabricación y construcción de ellos. En el diseño de pavimentos la calidad de los materiales para la base, la sub base y la carpeta debe ser una preocupación especial del diseñador.

Clima.

Los factores que más afectan en el país son las lluvias, un poco menos los cambios de temperaturas. Las lluvias por su acción directa pueden producir daño sobre el pavimento, especialmente con la base y la sub base. También cuando la carpeta de rodamiento está expuesta de manera constante a la acción del agua se manifiesta un deterioro sustancial en la misma.

5.3. METODOLOGIA.

Se diseñará el pavimento articulado utilizando el método AASHTO 93, que consiste en el uso de ecuaciones empíricas para determinar los espesores de los componentes del pavimento. La ecuación AASHTO 93 toma la siguiente forma:

$$\text{Log}w_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \text{Log}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.18}}} + 2.32 \text{LogMR} - 8.07 \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

W18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 18 kips (18000 lb) acumuladas en el período de diseño.

Zr: Valor del desviador en una curva de distribución

So: Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado.

Δ PSI: Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial (Po) y el índice de serviciabilidad terminal (Pt).

MR: Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

SN: Número estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido.

5.3.1 Variables de Diseño.

5.3.1.1 Confiabilidad.

Es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso. La tabla N° 23 permite obtener los niveles adecuados de Confiabilidad para diferentes tipos de vías, clasificados por la AASHTO, según su grado de servicio. Para este diseño se tomó un valor de 80%.

Tabla N° 23. Niveles de Confiabilidad

Clasificación de la vía	Confiabilidad Recomendada	
	Urbana	Rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. 3ª Ed.

5.3.1.2 Desviación estándar.

La desviación estándar considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento. En la tabla N° 24 se muestran los valores para la desviación estándar; 0.45 para este caso.

Tabla N° 24. Valores para la Desviación Estándar.

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.35 pavimento Rígido
	0.45 Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.40 Pavimento Rígido
	0.50 Pavimento Flexible

Fuente: Guía para Diseño de pavimentos, AASHTO 1,993.

5.3.1.3 Serviciabilidad.

La serviciabilidad de un pavimento es la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (present serviciability index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto).

Para el diseño de pavimento se debe elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial, es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final, es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHO Road Test:

Serviciabilidad inicial.

Po: 4.5 para pavimentos rígidos

Po: 4.2 para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final.

Pt: 2.5 o más para caminos muy importantes

Pt: 2.0 para caminos de menor tránsito

De acuerdo a lo anterior se eligió un valor de serviciabilidad inicial de 4.2 y un valor de serviciabilidad final de 2.0.

5.3.1.4 Módulo Resiliente.

En el método AASHTO de 1993, el módulo de resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento.

Dado que no siempre se tienen equipos para ejecutar un ensayo de módulo resiliente, es conveniente relacionarlo con otras propiedades de los materiales, con respecto al CBR se tiene:

$$MR = 1,500 \times CBR \quad CBR \leq 7.2 \quad (\text{Ec. 9})$$

$$MR = 4,326 \times \ln(CBR) + 241 \quad CBR > 7.2 \quad (\text{Ec. 10})$$

5.3.1.5 Subrasante.

En el capítulo I “Estudio de los suelos” se calculó el CBR de diseño (ver gráfico N° 1 pág. 24) que será usado como valor para relacionar el módulo resiliente de subrasante; haciendo uso de la Ec. 10 tenemos:

$$MR = 4,326 \times \ln(47.4) + 241 = 16,933.4 \text{ PSI}$$

5.3.1.6 Capa de Base.

Para la capa de Base se empleará la combinación 80/20 proveniente del banco de materiales “El Galpón”, el cual tiene un valor de CBR=81% a un 95% de compactación (ver Capítulo I “Estudio de los suelos”, pág. 21).

El módulo de resiliencia se obtuvo a través del nomograma para bases granulares no tratadas y cuyo resultado es de 28,400 PSI y un coeficiente estructural de 0.134. La obtención de estos valores se puede apreciar en el anexo 3, pág. XI.

5.3.2 Número Estructural (SN).

Con la fórmula de diseño (Ec. 8) se obtiene un valor llamado número estructural (SN) y en función del mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural.

La expresión que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es la siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \dots \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

a_1 , a_2 , a_3 son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.

m_2 , m_3 son los coeficientes de drenaje.

D_1 , D_2 , D_3 son los espesores de capas, en pulg o mm.

La resolución de la ecuación 8 y el valor del SN se verán más adelante una vez detalladas cada una de las variables que la conforman.

5.3.2.1 Coeficientes Estructurales.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_i), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal del pavimento flexible. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento.

Para el coeficiente estructural del adoquín (a_1) se usó el valor de 0.45; empleado en el ejercicio de diseño de pavimento de adoquín por el método AASHTO 93 ilustrado en el Manual Centroamericano de pavimento y para el coeficiente

estructural de la base se utilizó el valor obtenido del nomograma para bases granulares no tratadas (0.134).

5.3.2.2 Drenaje.

El drenaje de agua en los pavimentos, debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipan con el tiempo para ocasionar daño a las estructuras de pavimento.

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable) lo que hace un camino de mejor calidad, así como permite en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor.

La tabla N° 25 muestra los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles.

Tabla N° 25. Coeficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles.

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.			
	<1 %	1-5 %	5-25 %	>25 %
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

Fuente: Guía para Diseño de pavimentos, AASHTO 1,993.

Se consideró un valor de coeficiente de drenaje de 1 debido a que el tramo tiene una pendiente accidentada y cuenta con drenaje de aguas pluviales (cunetas y canales).

5.3.3 Cálculo de Espesores.

En la tabla N° 26 se muestra un resumen de los datos de entrada para la resolución de la Ec. 8.

Tabla N° 26. Datos de entrada.

Numero de Ejes Equivalentes	1,951,168
Confiabilidad (R)	80
Desviación Estándar (So)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial	4.2
Índice de serviciabilidad final	2
MR, subrasante	16,933.4 PSI
MR, Base	28,400 PSI
Coefficiente de adoquín	0.45
Coefficiente de Base	0.134

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.1 Cálculo del Número Estructural (SN) y Espesores de Capa (D).

Para el cálculo de SN se utilizó el software de computadora para resolver la ecuación AASHTO-93 para pavimentos flexibles (E.c. 8), obteniendo un resultado de $SN = 2.58''$ para la subrasante.

Este resultado se puede ver en la Figura N° 7. Resultado del número estructural (SN) de subrasante.

Figura N° 7. Resultado del número estructural (SN) de subrasante.

Fuente: Elaboración propia.

Como el espesor del adoquín es conocido (4"), no es necesario hacer uso del software ya que se puede calcular directamente de la siguiente manera:

$SN_1 = D_1 \times a_1$, siendo D_1 el espesor del adoquín.

$$SN_1 = (4") \times (0.45) = 1.8"$$

Ahora se procede a calcular el espesor que corresponde a la base a como sigue a continuación:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 m_2}$$

$$D_2 = \frac{2.58" - 1.8"}{(0.134)(1)} = 5.8" \approx 6"$$

Como verificación:

$$a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 \geq SN$$

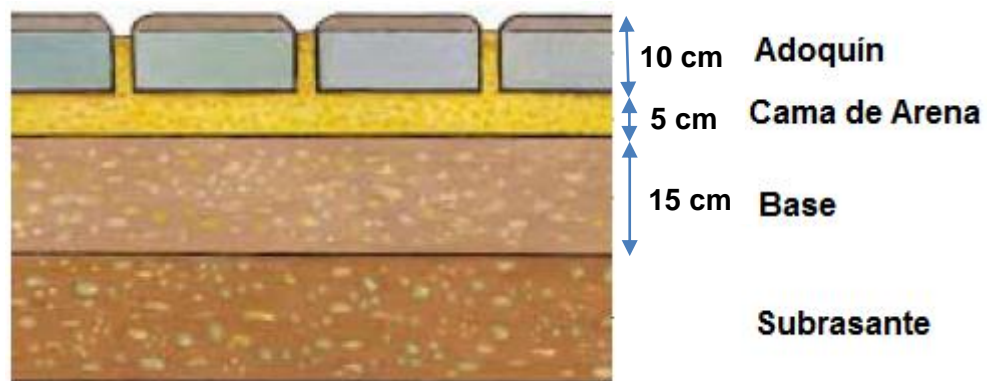
$$(0.45)(4) + (0.134)(6) \geq 2.58"$$

$$2.6" \geq 2.58"$$

Como resultado general para el diseño de pavimento tenemos los siguientes espesores:

- Capa de rodamiento (Adoquín) = 4" (10 cm)
- Cama de arena = 2" (5 cm)
- Base = 6" (15 cm)

Figura N° 8. Sección Transversal del pavimento diseñado.



CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

En este documento se ha pretendido analizar los aspectos más importantes en el estudio de suelo, estudio de tránsito y diseño de pavimento.

En el capítulo I, el estudio de suelo nos permite concluir que en general a lo largo de todo el tramo, la subrasante está conformada por material compuesto de grava con arena limosa y arcilla, así como suelos arcillosos que dio como resultado un valor de CBR de 47.4 %. El valor del CBR del banco combinado (70/30) utilizado por la Alcaldía Municipal de Matagalpa al 95 % de compactación da un resultado de CBR de 76 %, el cual no cumple como material de base según las normas NIC-2000.

En el capítulo II, el aforo de tránsito realizado durante 3 días consecutivos utilizando los mismos parámetros que utiliza el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), nos dio como resultado un TPDA de 1465 veh/día que clasifica a la vía como una colectora sub urbana según el manual SIECA y que al ser proyectado para un período de 15 años aumentó a 2454 veh/día el cual corresponde a un numero de ESAL's de 1,951,168 ejes equivalentes por carril de diseño.

En el capítulo III, el diseño de pavimento nos permitió obtener una estructura compuesta por dos capas, la base con un espesor de 6" (15 cm) y la de rodadura con un espesor de 4" (10 cm) ; las cuales combinadas satisfacen las necesidades y cumplen con los parámetros exigidos según las normas.

Recomendaciones.

1. Utilizar la combinación de banco 80/20 ya que esta cumple con el CBR para uso como base (81%).
2. Realizar pruebas de resistencia a los adoquines para garantizar una resistencia mínima de 3500 PSI.
3. Se recomienda desde el punto de vista constructivo llevar un estricto control de la obra para que los espesores de la capa del pavimento sean los especificados en este documento, 15 cm para base y 10 cm para la capa de rodadura.
4. Se recomienda una adecuada supervisión de la obra que permita controlar la calidad de los materiales así como de los procesos constructivos.
5. Dar mantenimiento rutinario al camino cuando se presenten puntos inestables que interrumpan con la seguridad y el confort que ofrezca el camino para garantizar su vida útil.
6. Dar mantenimiento y limpieza a las obras de drenaje adyacentes al tramo.

Bibliografía.

1. Alfonso Montejo Fonseca. Ingeniería de pavimento para carretera. 2da Edición. (2004). Editorial Stella Valbuena de Fierro.
2. Carlos Crespo Villalaz. Mecánica de suelos y cimentaciones, 4ta Edición. Editorial Limusa.
3. Ministerio de Transporte e Infraestructura. Anuario de aforos de tráfico. Año 2014.
4. Ministerio de Transporte e Infraestructura. Manual para la revisión de estudios de suelos y diseño de pavimentos. Preparado por: Corea y Asociados S.A (CORASCO). Nicaragua, Octubre de 2008.
5. Rafael Cal y Mayor R. Ingeniería de tránsito "fundamentos y aplicaciones". 8va Edición. Editorial Alfaomega Grupo Editor.

ANEXO 1

ESTUDIO DE LOS SUELOS

Tabla N° 27. Clasificación de suelos AASHTO

Tabla N° 28. Clasificación unificada de suelos, SUCS

**Tabla N° 29. Relación aproximada entre la clasificación
del suelo y los valores del CBR y K**

Tabla N° 27. Clasificación de suelos AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
Clasificación de grupo	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

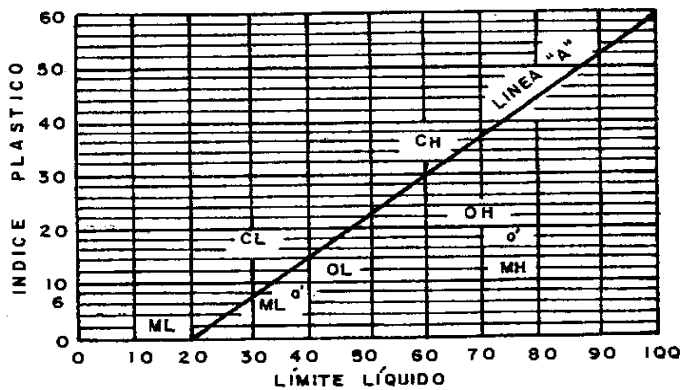
^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Tabla N° 28. Clasificación unificada de suelos, SUCS

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO					
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA Nº 200 (φ) PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)		SIMBOLOS DEL GRUPO			
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO EN LA MALLA Nº 200 (φ) PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO)	ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº 4 (Úsease la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)	GRAVAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA EN LA MALLA Nº 4	GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	GW	
			GRAVAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)	GP	
			GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	GM	
			GRAVAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)	GC	
			ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	SW	
	ARENAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA PASA LA MALLA Nº 4 (Úsease la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo)	GRAVAS MÁS DE LA MITAD DE LA FRACCIÓN GRUESA ES RETENIDA EN LA MALLA Nº 4	GRAVAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	ARENAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)	SP
				ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	SM
				ARENAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)	SC
				ARENAS CON FINOS (CANT. APRECIABLE DE PART. FINAS)	GP
				ARENAS LIMPIAS (POCO O NADA DE PART. FINAS)	GM
DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRA - MULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA Nº 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUIEN MENOS DE 5% : GW, GP, SW, SP MÁS DE 12% : GM, GC, SM, SC					
COEF DE UNIFORMIDAD (C _u) COEF DE CURVATURA (C _c) $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, MAYOR DE 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, ENTRE 1 y 3					
NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW					
LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I _p MENOR QUE 6					
LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I _p MAYOR QUE 6					
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, MAYOR DE 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, ENTRE 1 y 3					
NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW					
LÍMITES DE PLASTICIDAD ABAJO DE LA LÍNEA "A" O I _p MENOR QUE 6					
LÍMITES DE PLASTICIDAD ARRIBA DE LA LÍNEA "A" CON I _p MAYOR QUE 6					
EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G. GRAVA M. LIMO O. SUELOS ORGÁNICOS SW. BIEN GRADUADOS L. BAJA COMPRESIBILIDAD S. ARENA C. ARCILLA P _t TURBA P. MAL GRADUADA H. ALTA COMPRESIBILIDAD					
COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO					
CARTA DE PLASTICIDAD PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS EN EL LABORATORIO					
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS					
P _t					

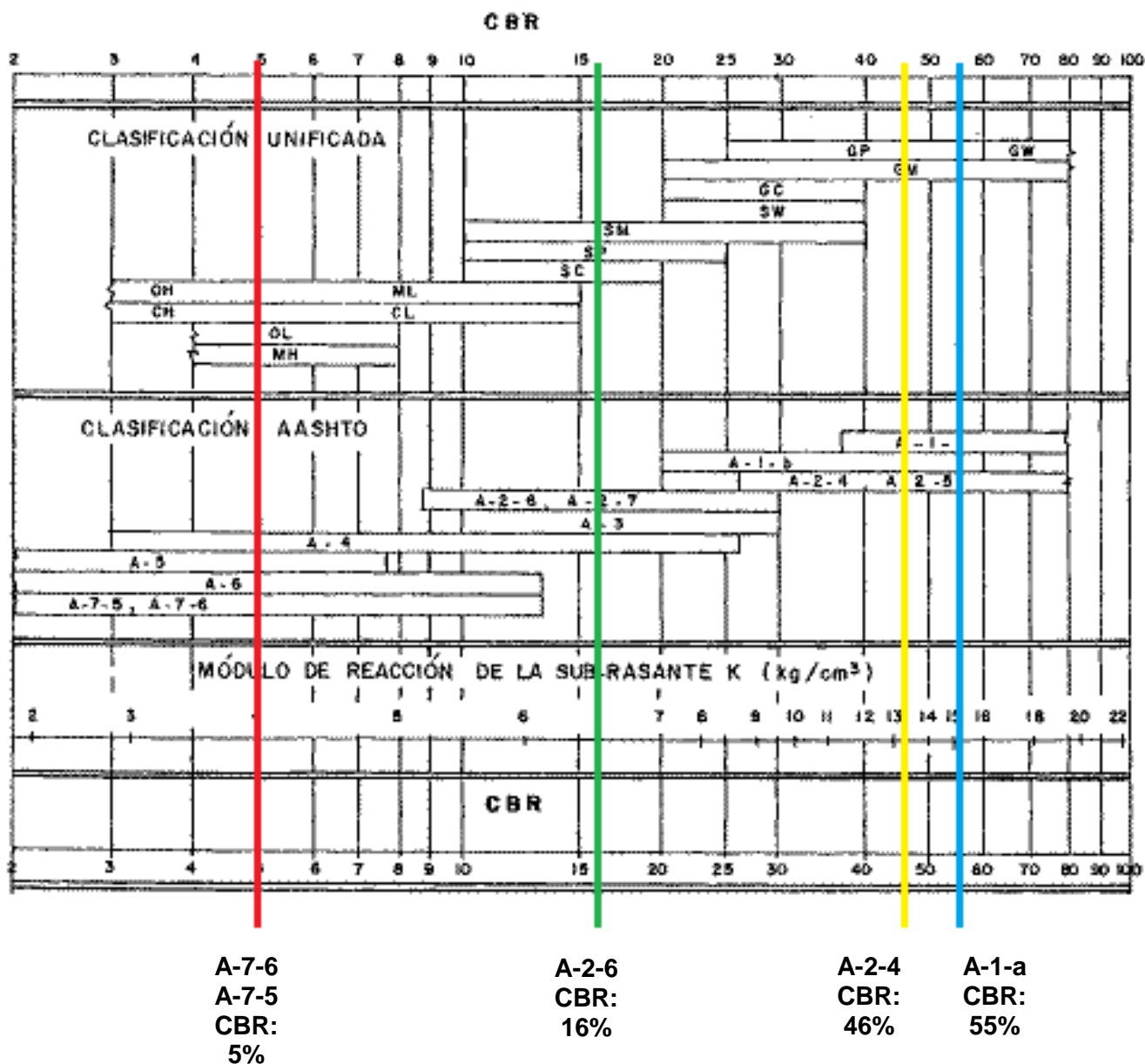
EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS
G. GRAVA M. LIMO O. SUELOS ORGÁNICOS W. BIEN GRADUADOS L. BAJA COMPRESIBILIDAD
S. ARENA C. ARCILLA P. TURBA P. MAL GRADUADA H. ALTA COMPRESIBILIDAD

COMPARANDO SUELOS A IGUAL LÍMITE LÍQUIDO, LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL ÍNDICE PLÁSTICO



CARTA DE PLASTICIDAD PARA
CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS EN EL LABORATORIO

Tabla N° 29. Relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores del CBR y K.



ANEXO 2

ESTUDIO DE TRÁNSITO

Tabla N° 30. Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puentes.

Tabla N° 31. Diagrama de cargas permisibles.

Tabla N° 32. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t=2$, SN= 5

Tabla N° 33. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t=2$, SN= 5

Tabla N° 30. Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puentes.


CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con ltnas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tn-8x=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tn-8x=4.
	Tn-8x=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cn-Rn=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cn-Rn=4
	Cn-Rn=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Bemovientes).

Tabla N° 31. Diagrama de cargas permisibles.

Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2=Veh. const	5/10	11000/22000

Tabla N° 32. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t=2$, SN= 5

Carga p/eje (kips) ⁶	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Tabla N° 33. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $\rho_t=2$, SN= 5

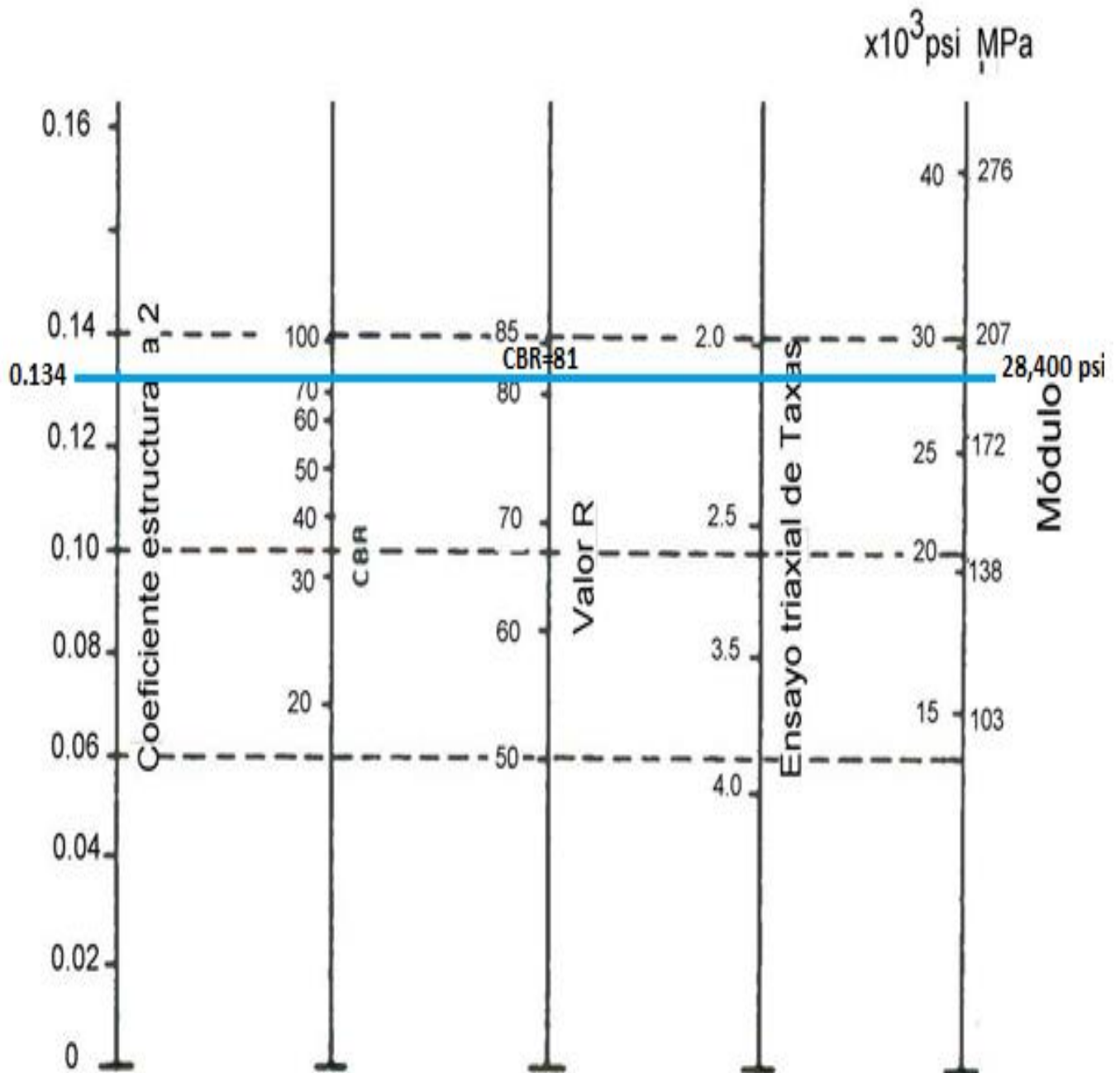
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

ANEXO 3

DISEÑO DE PAVIMENTO

Figura N° 9. Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.

Figura N° 9. Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.



ANEXO 4

IMAGENES

Imagen 1, 2 y 3. Sondeo Manual y Extracción de Muestras.

Imagen 1.



Imagen 2.



Imagen 3.



Imagen 4, 5, 6 y 7. Ensayes de Laboratorio.

Imagen 4.



Imagen 5.



Imagen 6.



Imagen 7.



Imagen 8 y 9. Banco de Materiales.

Imagen 8.



Imagen 9.

